轉作田玉米之土壤肥力限制因子研究[1]

李　子　純[2]

摘　　要

本研究係利用廳屬各農改場設於全省之轉作玉米田適栽標準栽培區進行者，研究之期作及地點包括73年秋作共46點，74年春共32點。進行方法為於各標準栽培區整地施肥前採取其土壤樣本及剖面，前者作各項理化性質分析，後者為瞭解各試區土系及底土性質、排水狀況等。并在玉米發芽後30—45日採取植株樣本作葉片分析，以明瞭其營養狀況，並利用「診斷推薦綜合系統」(DRIS) 方法計算各養分之指數 (DRIS indices)，尋找限制因子，以與土壤分析資料互相對照。收獲後記錄其產量，以探討本省各地轉作玉米田之土壤肥力限制因子。同時在各標準栽培區設無磷區，與施磷區，以比較磷肥效果，期能獲得轉作田之玉米磷肥診斷標準。所得結果如下：

1. 除北部及花蓮地區外，秋作玉米產量顯著高於春作，兩作中產量最低者均為花蓮地區。
2. 磷肥效果以春作較高。無磷區產量百分率 (NK／NPK×100) 春作平均為 81.0，秋作為 89.7。其中又以北部及臺東地區磷肥效果最高。
3. 土壤有效磷含量 (Bray P或Olsen P) 與磷肥效果間並無顯著之相關關係。但標準栽培區中無磷區產量無超過施磷區者，即使有效磷 (Bray P) 高達45 ppm P 之試區，施磷仍可獲5％以上之增產，足見磷肥對轉作玉米田之重要。因而轉作田之磷肥需要量不能比照一般農田，依其土壤中有效磷含量作施磷量之推薦標準。
4. 土壤分析資料顯示轉作田土壤中，Fe、Mn及 Mg 在土層中均有明顯下移現象，而有效性P、K含量則表土遠高於底土。植物分析資料及由其計算出的DRIS指數更顯示玉米生長前期 (發芽後至45日) 普遍缺P、Mn及 Mg，而以K含量最高，由於轉作田的犂底層硬盤多在 20cm 左右，玉米根不易穿透，而玉米生長前期所需P、Mn及Mg又較多，則玉米生長前期的土壤肥力限制因子應為K的過多，及P、Mn、Mg的缺乏。
5. 在針對前項限制因子改良的副試驗中，的確證實 P及 Mn的重要，而鉀的效果則只在排水較差地區較為明顯。

研究計畫主題中英文關鍵字

轉作田、玉米、肥力限制因子、DRIS指數

Upland converted from paddies, corn, fertility limitations, DRIS indices.

前　　言

旱田與水田性質迥異 (3,6)，本省農田經長期種植水稻後，轉作玉米，土壤肥力應有

1.本計畫承農委會資助，謹此致謝。

2.臺灣省農業試驗所農化系研究員。

需要改進或注意之問題存在，極需探討。又磷肥對旱作的效果遠大於水稻，尤其對新由水田轉作之旱田，其磷肥需要量或更為不同。玉米磷肥需要量之診斷雖已有上年度本所及各改良場合作之三要素肥料需要量試驗（1），然仍有在較多地點探討之必要。

新興之「診斷推薦綜合系統」(Diagnosis and Recommendation Integrated System or DRIS) (2,9,10) 方法係利用葉片分析診斷作物營養狀況，此法係為克服過去利用「臨界濃度」(Critical concentration) 或「適量範圍」(Sufficiency range) 診斷時，必須受採樣時間、部位，作物品種及地域等限制之缺點而設計依各要素間的平衡關係作成各營養素的指數，此指數有正負及高低之分，但各指數相加之總和必為零，負數愈大即表示產量受其限制愈大，為極佳之診斷推薦方法。本研究中也將試予採用，與土壤分析資料配合，以探尋本省轉作玉米田的土壤肥力限制因子。

材料及方法

一、試驗期作：73年秋作及74年春作

二、實施地點：包括農林廳所屬各改良場設於全省之玉米適栽調查標準栽培區73年秋作共46點。74年春作共32點，各場之點數如下：

	73 年 秋 作	74 年 春 作
臺 東 場	5	5
花 蓮 場	5	5
桃 園 場	7	8
臺 中 場	10	5
臺 南 場	12	9
高 雄 場	7	0
合 計	46	32

三、試驗處理：各適栽調查標準栽培區之面積均為500m^2，以其中 100m^2設無磷區，餘施磷肥，無重複。

四、調查及分析項目：

1. 土壤採樣分析：各試區整地施肥前採取其表土 (0—20cm) 及底土 (20—40cm) 樣本 (73年秋作僅採表土) 作各項理化性質分析，項目包括土壤 pH，有機質，CEC，交換性Ca、Mg、K，有效性P、K、活性鐵、易還原性錳、質地及田間容水量等。同時採取土壤剖面以明瞭其土系及底土性質、排水情形等。
2. 植物採樣分析：玉米發芽後30—45日採取各試區之玉米植株樣本，分析其全株葉片，吐絲期採取穗葉作葉片分析，以明瞭其營養狀況，分析項目包括N、P、K、Ca、Mg、Zn、Mn、Cu、Fe等九項。
3. 收獲後記錄其產量。

五、統計分析：

1. 玉米產量與土壤理化性質的相關分析。
2. 玉米產量與植物營養要素含量的相關分析。
3. 不同時期玉米葉片養分含量以DRIS方法計算各養分的DRIS指數。

結果及討論

一、磷肥效果：

由於試區多，無法將各標準栽培區產量個別列出，故僅將試區依地域分為五部分，各以其產量之範圍及平均值列於表1. 表1中73年秋作僅以36處計算。因部分觀察區未設無磷區；74年春作僅以27處計算。因該年五月下旬南部地區受強風豪雨侵襲，部分試區玉米倒伏嚴重，產量無法計算。

表1之資料顯示除北部地區兩作產量極為接近，花蓮地區春作產量較高外，其他地區秋作玉米產量均顯著高於春作。兩作中產量最低者均為花蓮地區。秋作無磷區產量百分率（NK／NPK×100%）平均為 89.7%；春作為81%，春作磷肥效果普遍較好，其中又以北部（桃園、新竹）及臺東地區磷肥效果最好。但據本研究中兩作資料之迴歸分析結果，土壤中有效磷含量（Bray P或Olsen P）或葉片中磷含量與無磷區玉米產量百分率均無顯著之相關關係。

表1. 各地區無磷區及施磷區兩作玉米產量（ka／ha）及無磷區產量指數

地區	73年秋作						74年春作					
	試驗點數	無磷區 Po		施磷區 P		無磷區產量指數 Po／P×100	試驗點數	無磷區 Po		施磷區 P		無磷區產量指數 Po／P×100
		範圍	平均	範圍	平均			範圍	平均	範圍	平均	
北部	3	3,690 5,064	4,505	5,438 5,993	5,709	78.9	7	1,761 6,393	4,744	3,894 7,831	6,092	77.9
中部	10	4,730 6,300	5,459	4,867 6,650	5,654	96.6	5	3,560 4,730	4,184	3,700 5,600	4,684	89.3
南部	18	4,145 6,900	5,433	3,777 6,606	5,564	97.6	6	2,952 4,766	3,712	3,280 5,280	4,150	89.4
臺東	5	3,020 5,548	4,662	3,324 6,659	5,450	85.5	5	2,416 4,618	3,379	4,109 5,879	5,041	67.0
花蓮	5			2,433 4,317	3,135	—	4	2,718 3,669	3,301	3,185 4,379	3,894	84.4
平均			5,015		5,102	89.7			3,864		4,772	81.0

圖1為74年春作各標準栽培區無磷區產量指數與土壤有效磷的相關關係圖與 Olsen P的相關係數 r=0.2699ns ）。其間的關係雖不顯著，但可看出27試區中，僅一試區（ Bray P=12ppm）無磷區產量為99%，其他各試區雖有效磷（Bray P）高達 45ppm p，施磷仍可獲5%以上的增產。

由表1知兩作中以74年春作北部地區各試區產量差異最大，無磷區產量範圍在1.8—6.4t／ha 間，磷肥效果也高，但此七處無磷區產量百分率與土壤有效磷含量間也無顯著之相關關係：其與Bray P的曲線相關係數。r=0.515ns與Olsen p則r=0.351ns

由於Bray及 Olsen氏法測得的土壤有效磷均與無磷區產量百分率間無顯著的相關關係，而觀察區中無磷區產量又無超過施磷區者，故本試驗中只能獲知轉作玉米田磷肥的重要性，但無法定出需磷診斷標準。唯由診斷推薦綜合系統方法計算出之各養分 DRIS

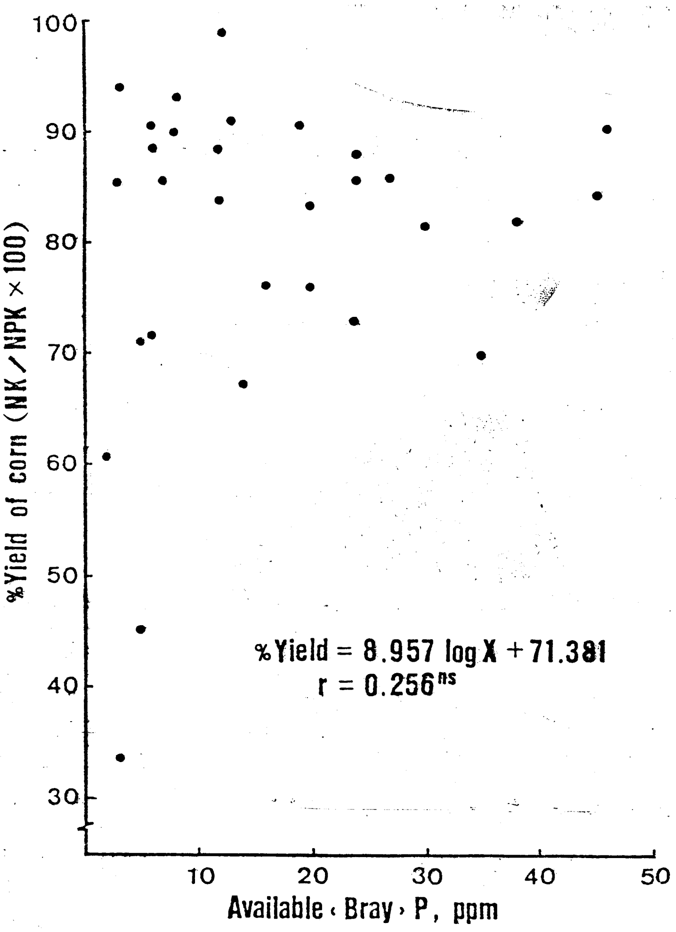

圖1. 土壤有效磷與無磷區玉米產量百分率的關係

指數判斷，春作中多數缺磷區之磷肥用量（最高用量90kg P_2O_5／ha））仍嫌不足。73年度由本所及各區農改場設於全省八地點之玉米三要素需要量試驗中也發現秋作玉米平均需磷量可能略高於100kg P_2O_5／ha (1)。

Mikkelsen 等（5）在對水田排水後，種植旱作時所作的磷肥試驗中發現平常估計旱田或水田土壤有效性磷極為準確的 Olsen 氏法，在估計新由水田轉為旱田之土壤有效性磷含量時，無法使用，因為在有效磷遠超過通常旱作物臨界濃度的土壤裡，磷肥仍然有極顯著的增產效果。Willett 等 (13,14) 發現浸水……放乾的處理會增加土壤對磷的吸著力。彼等 (13,14) 也指出此種新轉為旱作土壤的缺磷係由於土壤中磷形態的改變而影響磷對作物的有效性，但此種影響通常在轉為旱作後的第二或三年即會自然消失。

二、土壤性質與玉米產量：

本研究中之土壤曾作詳盡之理化性質分析共21項目，並將各項性質分別與玉米產量作迴歸分析。茲將兩作玉米產量與其土壤之重要理化性質之單相關係數列於表2（其他性質與產量間無顯著相關者未列出）。

由於玉米產量受地區及氣候的影響很大，尤其東、西部無法同時比較，故表2中除

表2. 玉米產量與土壤性質間的單相關係數

年度	土層	地區	樣本數	pH	O. M.	CEC	Ex, Ca	Ex, Mg	Ex, K	Easi. red. Mn	Free Fe	% Sand	% Clay	% Silt	Field Capacity
73	表土	全省	43	0.147	−0.173	−0.200	−0.032	−0.092	−0.290	−0.048	−0.067	0.098	−0.002	−0.119	−0.308*
		東部	10	0.660*	−0.275	−0.115	0.434	−0.103	−0.212	0.304	−0.197	0.131	−0.072	−0.088	−0.102
		西部	33	0.038	−0.157	0.227	−0.180	0.136	−0.055	0.001	−0.020	0.089	0.008	0.118	−0.160
74	表土	全省	29	−0.345	0.363*	0.189	−0.245	−0.142	−0.005	−0.336	−0.081	0.095	0.136	−0.182	0.038
		東部	10	0.072	−0.074	0.148	0.024	0.341	−0.154	0.110	−0.044	−0.024	0.226	−0.117	−0.065
		西部	19	0.048	0.550*	0.446	−0.100	−0.038	0.260	−0.309	−0.089	−0.167	0.276	0.093	0.280
	底土	全省	28	−0.297	0.098	0.149	−0.316	−0.210	−0.020	−0.291	0.532**	0.164	0.289	−0.406*	−0.141
		東部	9	0.313	−0.196	0.187	0	0.434	−0.392	0.114	0.529	−0.062	0.265	−0.063	0.067
		西部	19	− 0.14	0.224	0.174	−0.151	−0.098	0.026	0.266	0.578*	− 0.07	0.311	−0.140	0.030

有全省的資料外，另有分為東、西兩部分者。茲分兩作討論如下：

1. 73年秋作：

由表2知在73年秋作中全省43觀察區與產量之關係達顯著程度之土壤性質只有田間容水量（圖2）。此圖顯示兩者間雖有5％顯著程度的負相關關係，但關係並不明確，而圖中產量在 3.5t／ha以下之五處低產區，均為花蓮地區。足見氣候對產量之影響遠大於土壤。

如將東、西部分開計算，則東部地區（包括臺東、花蓮）十處之產量僅與土壤性質中之pH 呈5％顯著之正相關關係（表2），其關係繪於圖3。圖中各點之數字代表地點：1—5為臺東；6—10為花蓮。此圖顯示花蓮地區之玉米產量與土壤 pH 之關係似更密切。

73年秋作東部玉米適栽標準栽培區之玉米產量及主要土壤性質列於表3。由此表知十處土壤之pH在5.8至7.7之間。pH對產量的影響通常係由於pH與其他土壤性質之關係而起。經迴歸分析結果，pH 僅與土壤交換性鈣及有效磷間有顯著的相關關係，單相關係數依次為：r=0.834**及−0.743* (Bray p)，−0.726* (Olsen p) 。

本報告前已述及新由水田轉為旱田之土壤有效磷含量無法以Bray或 Olsen法測得之磷表示，則其與玉米產量之關係可不必重視。因此玉米產量即僅與土壤中交換性鈣含量有顯著正相關關係：含鈣高的土壤玉米產量較高。經查玉米與鈣的關係並不顯著（r=0.439ns）。表3的資料也顯示在臺東池上與成功兩地含鈣均高，而產量却相差懸殊。此二試區同為有機物、CEC及交換性鈣高之黑色土，但成功的土壤遠較池上粘重，Clay含量依次為42％及19％，故成功的玉米產量遠低於池上，足見質地對產量影響之巨，過細的質地不利於玉米生長。

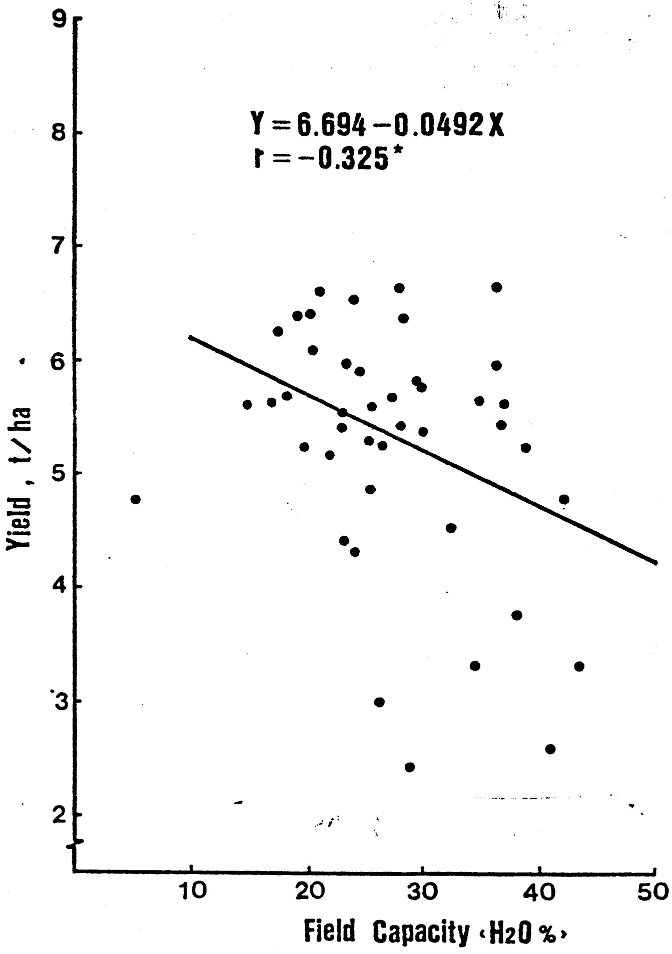

圖2. 玉米產量與土壤田間容水量的相關關係

表3　73年秋作東部玉米適栽標準栽培區玉米產量及主要土壤性質

地點		產量 kg/ha	pH	O. M. %	CEC	Ex. Ca	Ex. Mg	Ex. K	% Clay	% Silt	Field Cap.
						me/100					
臺東	太麻	6,659	7.7	1.3	2.89	21.38	0.63	0.063	15.6	71.1	36.51
	豐谷	5,778	5.7	1.9	6.11	3.50	0.76	0.243	12.6	45.7	29.83
	豐樂	5,664	5.6	1.4	5.38	3.00	0.72	0.166	14.8	57.5	34.59
	池上	5,824	6.4	2.3	22.65	12.00	3.81	0.442	18.8	37.5	29.45
	成功	3,324	5.9	4.7	44.62	18.00	14.72	0.780	41.8	42.5	43.40
花蓮	玉里	3,333	6.0	2.0	4.91	3.38	0.44	0.128	15.2	59.5	34.79
	玉里	4,317	6.9	1.7	28.87	16.00	3.71	0.895	13.2	28.3	24.27
	富源	2,593	5.0	3.8	9.83	3.13	0.41	0.409	16.2	64.1	41.00
	鳳林	2,433	5.4	0.5	3.75	1.75	0.26	0.281	8.0	62.7	28.91
	鳳林	3,000	5.1	1.8	7.92	2.68	0.30	0.148	13.4	50.9	26.43

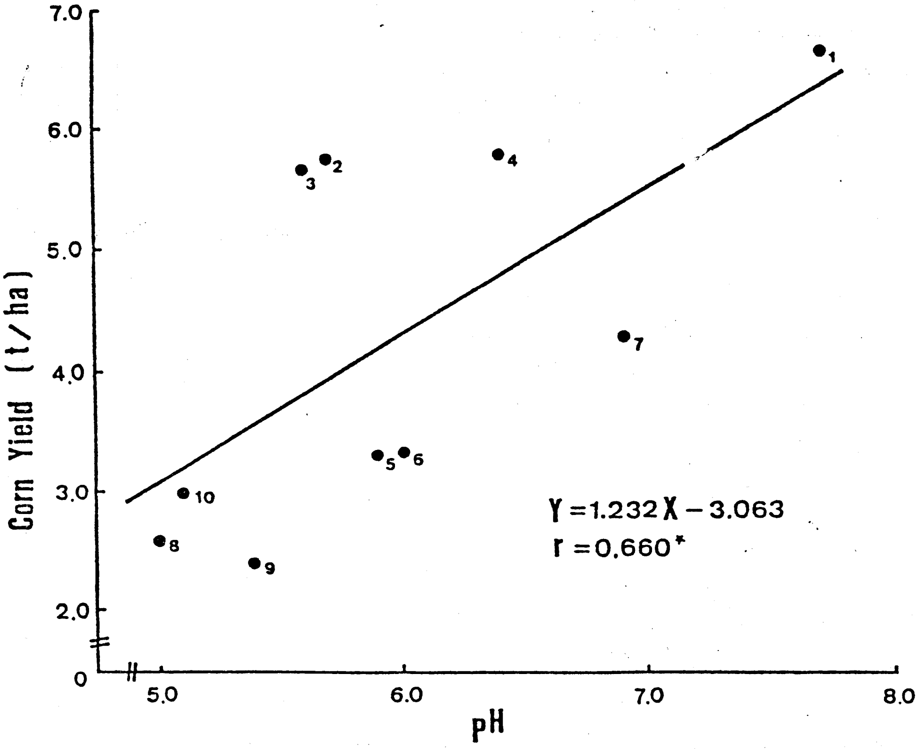

圖3. 東部試區玉米產量與土壤PH的關係（73年秋作）

表２顯示西部33標準栽培區的玉米產量與土壤性質間全無顯著相關關係。

2. 74年春作：

由表２知74年春作中，與玉米產量關係達顯著平準之表土土壤性質僅土壤有機質含量。在三要素肥料中，玉米需要量最多者仍為氮肥、故與土壤有機質之正相關關係應可想像。又與底土中活性鐵含量成１％顯著之正相關關係，顯示底土中 Free Fe含量高者，玉米產量較高。底土 Free Fe含量高多為表土淋洗較多也即排水較佳者，結果與一期作甚相符合。

3. 轉作田表、底土養分含量的比較：

轉作田土壤由於過去長期種植水稻，絕大部分土壤中均形成明顯的犂底層，其深度約在15—20cm，厚度約為3—4cm，兩層中養分含量大不相同。

為比較各試區中表、底土活性鐵，易還原性錳，及有效磷、鉀含量，將74年春作32試區各項目之含量範圍及其平均值列於表４。此表顯示土壤中 Fe，Mn確有明顯下移現象，而有效磷、鉀含量則反是。此現象應係由於本省土壤長期種植水稻，土壤中 Fe，Mn 因浸水還原而淋洗至下層。有效磷、鉀則因過去施肥多在表土，而其在土壤中的移動又較困難，故均以表土明顯高於底土。

玉米根的伸長雖快，但田間觀察發現，大部分玉米根羣密集在表土內，不易穿透犂底層。

表4　74年春作玉米適栽標準栽培區土壤中活性鐵，易還原性錳及有效磷、鉀在表、底土壤中含量範圍及平均值

項　　目	活性鐵 Fe (%)		易還原性錳 Mn (ppm		有效磷 Olsen p (ppm)		有效磷 Bray p (ppm)		有效鉀 Mechlich k (ppm)	
土　層 (cm)	0—20	20—40	0—20	20—40	0—20	20—40	0—20	20—40	0—20	20—40
範　　圍	0.38—1.43	0.52—2.65	3—304	9—440	5—159	3—75	2—46	0.1—31	16—273	17—137
平　　均	0.78	1.08	58	110	33	11	18	5	83	49

三、玉米產量與葉片無機養分含量的關係：

本研究中兩作玉米均於發芽後30至45日採取植株作全株葉片分析。74年春作並於雌穗吐絲期採取穗葉作葉片分析，分析項目包括N、P、K、Ca、Mg、Zn、Cu、Mn、Fe等九項。分析結果曾試與產量作迴歸分析，但其間之關係不穩定，顯示葉片養分含量受多種因子影響，與玉米產量間並無顯著相關關係。

四、玉米葉片養分含量之DRIS指數：

本研究中之玉米葉片養分含量資料曾依診斷推薦綜合系統方法（3，11，12）計算各養分的DRIS指數。由兩作生長前期（發芽後30—45日）之分析資料計算出之DRIS指數中，發現此時期之 DRIS 指數中，最低也即最缺乏的要素多數地區均為 Mn，其次為 Mg 及 P，而指數中最高者，幾乎均為鉀，顯示玉米葉片中鉀含量與其他要素相較，普遍偏高。茲以東部地區施磷處理為例。將其葉片分析結果及 DRIS指數列於表5，美國對玉米此生長期所訂養分的適量範圍（10）也列於此表，以資參考。

由表5比較本省玉米無機養分含量與各要素之適量範圍，以鉀含量超過此範圍者最多，而磷、鈣、及鎂的含量，則均過低，氮則幾均在適量範圍內。在微量要素中，僅Mn的含量有40%低於適量範圍，Cu、Zn含量適中，鐵則均偏高。

表5顯示鉀的含量在花蓮地區尤高，在 5.39—6.49%之間，73年秋作該地區各栽培區含量也在 3.98—6.23%之間，其他各地雖少有超過6%者，但在各要素中，仍屬含量偏高者。

雖然由於施鉀而引起鉀過多或毒害的情形非常少，但在肥力低的土壤中連續施用鉀肥時常有引起次要元素缺乏情形的報告，如若干作物及土壤因鉀過多而引起 Mn的缺乏，Zn及Fe的吸收也受阻（9a）。

鉀過多也常引起其他要素吸收的障礙，其中最顯著的例子為Mg，曾在很多土壤及作物中發現（4）。

本試驗中東部兩作適栽栽培區土壤之K／Mg比與玉米葉片Mg含量（30—45日）間即有5%顯著程度的負相關關係如圖4，此圖顯示當土壤 K／Mg 比大於 0.46時，玉米葉片 Mg 含量多在0.24%以下。

表5的DRIS指數中顯示東部十處標準栽培區中有七處以Mn的指數最低，也即此七

表5　74年春作東部地區玉米適栽標準栽培區施磷處理30—45天玉米葉片養分含量、適量範圍、及DRIS指數

地點	Plant composition									DRIS indices							
	N	P	K	Ca	Mg	Zn	Cu	Mn	Fe	N	P	K	Ca	Mg	Zn	Cu	Mn
	%					ppm											
花蓮鳳林	4.07	0.523	6.20	0.452	0.272	41	15	40	700	39	10	63	−7	−21	−14	4	−73
花蓮光復	3.84	0.390	6.15	0.468	0.197	65	15	80	1,968	27	−8	55	−7	−39	1	1	−29
花蓮富源	4.41	0.364	6.49	0.468	0.238	45	17	73	523	36	−13	60	−9	−30	−13	4	−34
花蓮玉里	4.08	0.339	5.44	0.468	0.335	45	17	33	725	44	−8	58	−3	−10	−6	11	−86
花蓮富里	3.68	0.355	5.39	0.428	0.210	35	16	23	438	55	3	76	2	−26	−11	18	-117
臺東池上	3.75	0.275	3.98	0.436	0.288	52	15	51	722	35	−15	36	−4	−13	−1	6	−43
臺東關山	4.74	0.297	4.12	0.421	0.176	68	17	68	350	49	−16	36	−8	−42	7	8	−34
臺東鹿野	3.81	0.308	4.22	0.293	0.160	55	15	180	755	34	−12	38	−22	−42	0	4	0
臺東東河	2.86	0.271	4.57	0.245	0.338	42	11	48	530	27	−11	54	−25	−3	−4	0	−39
臺東長濱	3.37	0.307	4.52	0.301	0.325	28	13	64	923	32	−8	48	−18	−7	−22	2	−28
美國研訂之適量範圍(10)	3.5—5.0	0.4—0.8	3.0—5.0	0.9—1.6	0.3—0.8	20—50	7—20	50—160	50—300								

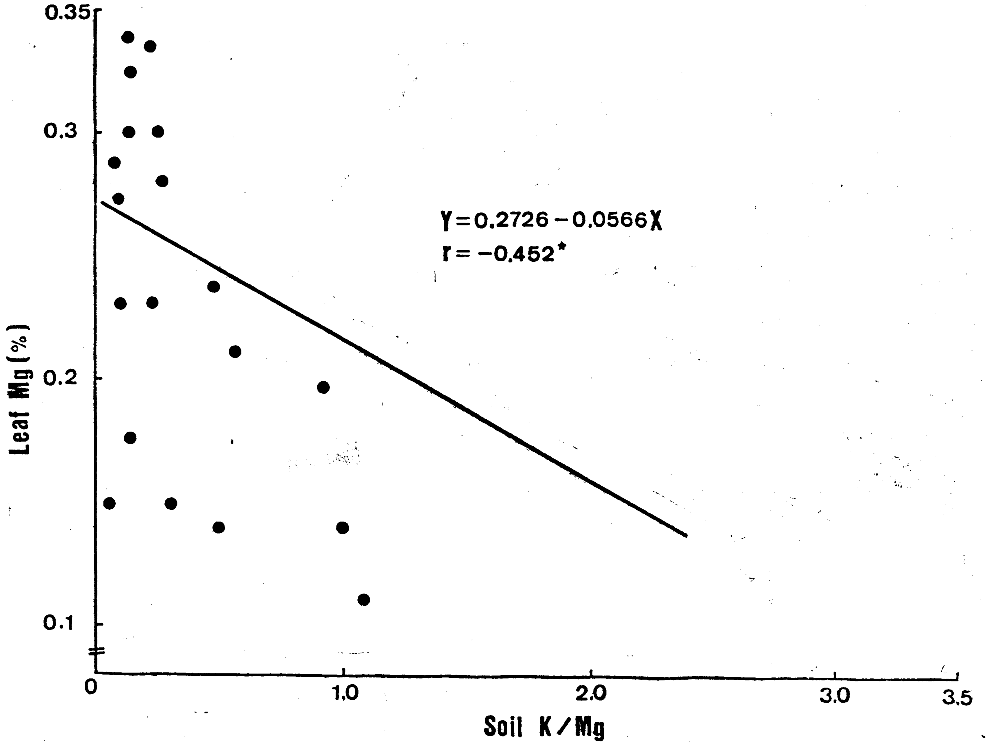

圖4. 東部地區土壤K/Mg比與玉米葉片Mg含量的關係

處最缺乏的要素可能是Mn，在全省其他栽培區中，情形也與此相似。按玉米對錳的需要量較低（2），雖其生長初期需Mn較多，但需要量隨玉米成長而漸減（7），故美國種植玉米甚少有缺Mn的情形發生（2）。本省農田土壤由於陽離子交換能量原即較低，更經長年種植水稻，表土中的Mn因還原及淋洗而移至底層，且前曾述及表土含鉀量高，玉米生長前期含鉀量特高，更可能影響Mn的吸收，故玉米前期對 Mn 的缺乏極有可能，其中又以 pH較高之土壤為然。

但玉米雌穗吐絲期之穗葉養分分析及 DRIS指數則顯示此時期之營養狀況與初期不同，此時鉀含量已不再偏高，而P及Mn的缺乏也恢復正常。

參　考　文　獻

1. 連深等，1985，稻田轉作玉米之施肥效應及營養因素探討（一）三要素需要量及矽酸爐渣和堆肥之效應。
   農林廳73年度土壤肥料試驗示範報告。
2. Aldrich, S. R., and E. R. Leng. 1972. Modern corn production.
3. Beaufils, E. R. 1973. Diagnosis and recommendation integrated system (DRIS) Soil sci. Bull. 1. University of Natal, Peiter-maritzburg, South Africa.
4. Boynton, D., and A. B. Burrell. 1974. potassium induced mag-nesium deficiency in the Mclntosh apple tree. Soil Sci. 58 : 441—454.
5. Brandon, D. M., and D. S. Mikkelsen. 1979. phosphorus trans-formations in alternately flooded California soils : I. Cause of plant phosphorus deficiency in rice rotation crops and cor-rectional methods. SSSAJ. 43 : 898—994.
6. Foth, H. D., 1984. Foundamentals of Soil Science. 7th ed., John Wiley & Sons.
7. Gorsline, G. W, D. E. Baker and W. I. Thomas. 1965. Accumu-lation of eleven elements by field corn (Zea mays L.) Penn. State Univ. Exp. Sta. Bull. 725, 30 p.
8. IRRI. 1978. Soils and rice. The International Rice Research Inst., Los Banos, Laguna, Philippines.
9. Mortvedt, J. J., P. M. Giordano, W. L. Lindsay. 1972. Micronu-trients in Agriculture. Proceedings of a symposium held at Muscle Shoals, Alabama, April 20-22, 1971. Soil Sci. Soc. of America. Inc.

9a. Reuther, W., and P. F. Smith. 1954. Leaf analysis of citrus. Chap. 7 : 257-294. in "Mineral nutrition of fruit crops". N. F. Childers, Ed. Somerset Press, Somerville. New Jersey.

10. Schulte, E. E., K. A. Kelling. 1984. Plant analysis : Uses and Limitations, in "Proceedings of the 1984 Fertilizer, Aglime & Pest Management Conference". Vol. 23, University of Wisconsin, Madison, Wis., U. S. A.
11. Sumner, M. E. 1976. Use of the DRIS System in foliar diagno-sing field problems at high levels. Am. Soc. Agron., Huston, Texas, Nov. 130, 1976.

12. Sumner, M. E. 1977b. Effect of corn leaf sampled on N, P, K, Ca and Mg content and calculated DRIS indices. Commum. Soil Sci. Plant Anal. 8 : 269—280.
13. Willett, I. R., and M. L. Higgins. 1978. Phosphate sorption by reduced and reoxidized rice soils. Aust. J. Soil R., 16 : 319—326.
14. Willett, I. R. 1979. The effects of flooding for rice culture on soil chemical properties and subseouent maize growth. Plant and Soil 52 : 373—383.